

DAFTAR ISI

JUDUL DALAM	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Kegunaan dan Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS	
2.1 Kajian Pustaka	6
2.1.1 Geologi Regional	6
2.1.2 Sistem Panas Bumi	8
2.1.3 Karakteristik Gunung Seulawah Agam	14

2.1.4 Geomorfologi Kuantitatif	16
2.1.5 Penginderaan Jauh	26
2.2 Kerangka Pemikiran	33
2.3 Kerangka Hipotesis	35
2.4 Kebaruan (<i>Novelty</i>)	36
BAB III METODE Riset	
3.1 Lokasi Penelitian	38
3.1.1 Pemilihan Lokasi Penelitian	39
3.1.2 Perolehan Data Sekunder	40
3.2 Metode Penelitian	40
3.2.1 Akuisisi Data Primer	40
3.3 Pengolahan Data	45
3.3.1 Pengolahan Citra DEM SRTM	45
3.3.2 Pengolahan Citra DEMNAS	45
3.3.3 Perolehan Data Morfometri	46
3.3.4 Perolehan Data Morfotektonik	48
3.3.5 Perolehan Data Morfostruktur	50
3.3.6 Pengolahan Citra Landsat-8 OLI TIRS	51
BAB IV EVALUASI KARAKTERISTIK MORFOTEKTONIK	
4.1 Pengolahan Citra SRTM dan DEMNAS	53
4.1.1 Akurasi Spasial Citra	53
4.1.2 Kemiringan Lereng	58
4.2 Analisis Indeks Geomorfologi	59

4.2.1 Indeks Morfometri	61
4.2.2 Indeks Morfotektonik	65
4.2.3 Indeks Morfostruktur	71
 BAB V ANALISIS CITRA LANDSAT-8 OLI TIRS	
5.1 Karakteristik Morfologi.....	92
5.1.1 <i>Land Survey Temperature (LST)</i>	92
5.1.2 <i>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</i>	92
5.2 Karakteristik Litologi dan Alterasi	96
5.2.1 Analisis Komposit RGB	96
5.2.2 Analisis <i>Band Ratio</i>	98
5.2.3 Analisis Komposit <i>Band Ratio</i>	103
5.2.4 Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> pada <i>Sample</i> Alterasi.....	107
5.3 Pemetaan Zona Alterasi dan Sebaran Mineral Alterasi	109
5.3.1 Metode <i>Principal Component Analisis (PCA)</i>	109
5.3.2 Metode <i>Directed Principal Component Analisis (DPCA)</i>	111
 BAB VI MORFOTEKTONIK DAN MANIFESTASI PROSPEKSI PANAS BUMI	
6.1 Karakteristik Geologi Permukaan.....	122
6.1.1 Aktivitas Tektonik Sistem Panas Bumi	123
6.2 Prospek Panas Bumi Gunung Seulawah Agam	129
6.2.1 Karakteristik Permukaan Berdasarkan Citra Radar.....	129
6.2.2 Karakteristik Permukaan Berdasarkan Citra Optis.....	135
6.3 Penginderaan Jauh dalam Tahapan Eksplorasi Panas Bumi	137

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan	143
7.2 Saran	144
DAFTAR PUSTAKA	146
LAMPIRAN	152
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	165

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Kerapatan Pengaliran (Sukiyah, 2018).....	19
Tabel 2.2	Klasifikasi Nisbah Percabangan Sungai oleh Verstappen (1983) dalam Sukiyah (2018)	20
Tabel 2.3	Klasifikasi <i>Basin Shape Index</i> (B_s) berdasarkan Sulaksana (2017) dalam Gentana dkk. (2018)	21
Tabel 2.4	Klasifikasi V_f Keller & Pinter, (1996) dalam Sukiyah (2018)	22
Tabel 2.5	Klasifikasi Indeks Sinusitas Muka gunung (Doornkamp, 1986 dalam Sukiyah, 2018).....	23
Tabel 3.1	Metadata SRTM dan DEMNAS	46
Tabel 3.2	Hasil Pengolahan Citra SRTM dan DEMNAS	47
Tabel 4.1	Intensitas Elevasi pada Citra	57
Tabel 4.2	Perbandingan Perolehan Orde Sungai pada Citra	58
Tabel 4.3	Klasifikasi dan Perbandingan Kemiringan Lereng	60
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan Indeks Morfometri.....	63
Tabel 4.5	Data Perhitungan Analisis Smf	69
Tabel 4.6	Hasil Perhitungan Indeks Morfotektonik	71
Tabel 4.7	Parameter STA dan Grouping Kelurusan.....	74
Tabel 5.1	Klasifikasi NDVI (NASA, 2000)	96
Tabel 5.2	Klasifikasi NDVI berdasarkan Observasi Lapangan	96
Tabel 5.3	Nilai dan Penentuan <i>Threshold</i> pada Metode <i>Band Ratio</i>	100
Tabel 5.4	Hasil Uji Laboratorium XRD	108

Tabel 5.5	Nilai dan Penentuan <i>Threshold</i> pada Metode PCA dan DPCA	114
Tabel 5.6	Data Hasil Perhitungan PCA Landsat-8.....	118
Tabel 5.7	Data Hasil Perhitungan Metode DPCA Landsat-8.....	118
Tabel 6.1	Potensi Aktivitas Tektonik pada DAS Seulawah Agam	127
Tabel 6.2	Analisis Hubungan antara Morfologi, Manifestasi dan Patahan	128
Tabel 6.3	Parameter Penentuan Zona <i>Outflow</i> dan <i>Upflow</i>	132

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem Hidrotermal (Corbett dan Leach, 1998)	10
Gambar 2.2	Alterasi dalam sistem hidrotermal menurut Corbett dan Leach (1998).....	14
Gambar 2.3	Peta Geologi dan Titik Manifestasi di Gunung Seulawah Agam (Marwan dkk., 2019)	16
Gambar 2.4	Penentuan Orde Sungai (Strahler, 1954 dalam Sukiyah, 2018)	19
Gambar 2.5	Perbandingan Resolusi Panjang Geolombang pada beberapa Satelit (NASA, 2018).....	28
Gambar 2.6	Diagram Kerangka Pemikiran	35
Gambar 2.7	Alur Proses Pengolahan Data Penelitian	37
Gambar 3.1	Lokasi dan Kesampaian Daerah	38
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	44
Gambar 3.3	Perhitungan Indeks <i>Drainage Density</i> (D_d), <i>Bifurcation Ratio</i> (R_b), <i>Basin Shape Index</i> (B_s), <i>Valley Floor Ratio</i> (V_f) <i>dan Mountain Front Sinuosity</i> (S_{mf})	51
Gambar 4.1	Perbandingan Hasil Pengolahan Citra	54
Gambar 4.2	Perbandingan Akurasi Fungsi <i>Hillshade</i> pada Citra.....	57
Gambar 4.3	Identifikasi Struktur Berdasarkan Kemiringan Lereng dan <i>Hillshade</i> Citra SRTM dan DEMNAS	60
Gambar 4.4	Peta Sebaran Indeks D_d Citra SRTM dan DEMNAS	64

Gambar 4.5	Peta Sebaran Indeks R_{b1-2} dan R_{b2-3} Citra SRTM dan DEMNAS	65
Gambar 4.6	Peta Sebaran Indeks R_c Citra SRTM dan DEMNAS	66
Gambar 4.7	Peta Sebaran Indeks B_s Citra SRTM dan DEMNAS.....	67
Gambar 4.8	Peta Sebaran V_F Citra SRTM dan DEMNAS.....	70
Gambar 4.9	Peta Sebaran Smf Citra SRTM dan DEMNAS	70
Gambar 4.10	ROI A dan H dalam Analisis mSTA <i>Lineament Density</i> (L_d), <i>Multi Shading Ascending</i> dan <i>Descending</i>	73
Gambar 4.11	Hasil Ekstraksi Kelurusan <i>Ascending</i> , <i>Descending</i> dan <i>Intersection</i>	75
Gambar 4.12	Hasil Ekstraksi Kelurusan <i>Ascending</i> , <i>Descending</i> dan <i>Intersection</i> lanjutan (b)	76
Gambar 4.13	Densitas Kelurusan pada ROI : A	77
Gambar 4.14	Densitas Kelurusan pada ROI : B	78
Gambar 4.15	Densitas Kelurusan pada ROI : C	79
Gambar 4.16	Densitas Kelurusan pada ROI : D	80
Gambar 4.17	Densitas Kelurusan pada ROI : E.....	81
Gambar 4.18	Densitas Kelurusan pada ROI : F	82
Gambar 4.19	Densitas Kelurusan pada ROI : G	83
Gambar 4.20	Densitas Kelurusan pada ROI :H	84
Gambar 4.21	Densitas Kelurusan pada ROI : I	85
Gambar 4.22	Sebaran Pola Kelurusan Parameter <i>Number Density</i> (a)	86
Gambar 4.23	Sebaran Pola Kelurusan Parameter <i>Number Density</i> (b).....	87

Gambar 4.24	Sebaran Pola Kelurusan Parameter <i>Lenght Density</i> (a)	88
Gambar 4.25	Sebaran Pola Kelurusan Parameter <i>Lenght Density</i> (b)	89
Gambar 4.26	Sebaran Pola Kelurusan Parameter <i>Intersection Density</i> (a)....	90
Gambar 4.26	Sebaran Pola Kelurusan Parameter <i>Intersection Density</i> (b) ...	91
Gambar 5.1	Identifikasi LST pada Citra Landsat-8	93
Gambar 5.2	Kondisi Vegetasi Aktual Daerah Penelitian.	94
Gambar 5.3	Hasil Identifikasi NDVI. a) Klasifikasi NASA b) Klasifikasi berdasarkan Observasi Lapangan	95
Gambar 5.4	Komposit RGB natural colour <i>Band 543</i> untuk Fitur Kenampakan Orisinil dan False Colour Composite pada <i>Band 432</i> untuk Fitur Kerapatan Vegetasi.....	100
Gambar 5.5	Karakteristik Morfotektonik, litologi dan Zona Alterasi pada Fitur Komposit RGB <i>Band 564, Band 567, Band 752</i> dan <i>Band 753</i>	101
Gambar 5.6	Pemetaan Mineral pada <i>Band Rasio 6/7 (clay mineral),</i> <i>Rasio 6/5 (ferrous mineral)</i> dan <i>Rasio 4/2 (iron oxide)</i>	102
Gambar 5.7	Karakteristik Citra Rasio Abram dan Rasio Gonzalez	105
Gambar 5.8	Karakteristik Citra Rasio Pour dan Hashim I dan II.....	106
Gambar 5.9	Karakteristik Citra Rasio Kaufmann dan Rasio Sabin	106
Gambar 5.10	Identifikasi Zona Alterasi Metoda PCA pada Mineral Temperatur Tinggi (A) dan Mineral Temperatur Rendah (B).....	115

Gambar 5.11	Identifikasi Zona Alterasi Metoda PCA pada Mineral Alterasi (A) dan <i>Clay</i> Alterasi (B).....	116
Gambar 5.12	Identifikasi Zona Alterasi Metoda PCA pada Mineral Temperatur Tinggi (A) dan Mineral Temperatur Rendah (B).....	117
Gambar 5.13	Metoda DPCA pada Identifikasi Sebaran Mineral Temperatur Tinggi (A) dan (B)	119
Gambar 5.14	Metoda DPCA pada Identifikasi Sebaran Mineral Temperatur Tinggi (A) dan Mineral Temperatur Rendah (B).....	120
Gambar 5.15	Metoda DPCA pada Identifikasi Sebaran Mineral Temperatur Rendah (A) dan (B).....	121
Gambar 6.1	A) Parameter <i>number density</i> , B) <i>Lenght density</i> dan C) <i>Intersection density</i> dalam penentuan zona <i>Outflow</i> dan <i>Upflow</i>	131
Gambar 6.2	Karakteristik Permukaan Panas Bumi Seulawah Agam <i>Overlay</i> Mineral Alterasi Temperatur Rendah Dan Densitas Kelurusan.....	141
Gambar 6.3	Karakteristik Permukaan Panas Bumi Seulawah Agam <i>Overlay</i> Mineral Alterasi Temperatur Tinggi Dan Densitas Kelurusan.	142

DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH

Daftar Singkatan

PLTP	:	Pembangkit Listrik Tenaga Panas bumi
MW	:	Mega Watt
ESDM	:	Energi dan Sumber Daya Mineral
SRT	:	<i>Seismic Refraction Tomography</i>
IP	:	<i>Induced Polarization Method</i>
VLF	:	<i>Very Low Frequency</i>
MT	:	<i>Magnetotelluric (MT)</i>
TEM	:	<i>Transient Electromagnetic</i>
ASTER	:	<i>Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer</i>
LANDSAT OLI TIRS	:	<i>Land Satellite 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)</i>
DEM	:	<i>Digital Elevation Model</i>
DEMNAS	:	<i>Digital Elevation Model Nasional</i>
pH	:	<i>Power of Hydrogen</i> , satuan derajat tingkat kadar keasaman atau kada alkali dari suatu larutan.
DAS	:	Daerah Aliran Sungai
SRTM	:	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
D_d	:	<i>Drainage Density</i>
R_b	:	<i>Bifurcation Ratio</i>
B_s	:	<i>Basin Shape Index</i>
R_c	:	<i>Circularity Basin Ratio</i>
V_f	:	<i>Valley Floor Ratio</i>
Smf	:	<i>Mountain Front Sinuosity Index</i>
L_d	:	<i>Lineament Density</i>
Km	:	Kilometer, satuan panjang
Km^2	:	Kilometer persegi, satuan luas
Nu	:	Segmen sungai orde ke “n”
A	:	Luas area
P	:	Parimetri atau keliling area
Bl	:	Perbandingan Panjang
Bw	:	Lebar maksimal dari suatu DAS
Lmf	:	Panjang muka gunung
Ls	:	Proyeksi bidang datar

SAR	:	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
USGS	:	<i>United States Geological Survey</i>
NASA	:	<i>The National Aeronautics and Space Administration</i>
FLAASH	:	<i>Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes</i>
DN	:	<i>Digital number</i>
NDVI	:	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
LST	:	<i>Land Surface Temperature</i>
PCA	:	<i>Principal Component Analysis</i>
DPCA	:	<i>Directed Principal Component Analysis</i>
ICP-OES	:	<i>Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry</i>
NIMA	:	<i>National Imagery and Mapping Agency</i>
ASI	:	<i>Italian Space Agency</i>
DLR	:	<i>German Aerospace Center</i>
BGI	:	<i>Badan Informasi Geospasial</i>
GCP	:	<i>Ground Control Point</i>
JKG	:	<i>Jaring Kontrol Geodesi</i>
RSME	:	<i>Root Mean Square Error</i>
mSTA	:	<i>Modified Segment Tracing Algorithm</i>
NIR	:	<i>Near-infrared</i>
SWIR	:	<i>Shortwave-infrared</i>
UTM	:	<i>Universal Transverse Mercator</i>
ROI	:	<i>Region of Interest</i>
RGB	:	<i>Red Green Blue</i>
XRD	:	<i>X-Ray Diffraction</i>
Mdpl	:	<i>Meter Diatas Permukaan Laut</i>

Daftar Istilah

- *Ring of Fire* adalah tatanan tektonik dunia yang berisikan jalur tektonik dan gunung api yang aktif.
- Penginderaan jauh adalah proses deteksi fisik permukaan bumi, terdapat sumber untuk mengukur radiasi elektromagnetik yang dipantulkan dan dipancarkan pada jarak tertentu dari area yang ditargetkan
- Geomorfologi (kuantitatif) adalah pendekatan kuantitatif (numerik) dalam analisis data yang terkait dengan geomorfologi.
- Morfometri adalah aspek kuantitatif dari suatu daerah seperti: kemiringan lereng, panjang lereng, bentuk lereng, ketinggian tempat, beda tinggi, kekasaran medan, tingkat pengikisan dan pola aliran.
- Morfotektonik adalah aspek kuantitatif suatu daerah dimana karakteristiknya akan menunjukkan identifikasi akan aktivitas tektonik yang terjadi.
- Morfostruktur adalah aspek kuantitatif suatu daerah yang di indikasikan terdapatnya struktur geologi di area tersebut.
- DAS atau basin adalah suatu kawasan yang dibatasi oleh pembatas topografi (punggung bukit) di mana air yang jatuh, terkumpul dalam kawasan tersebut. DAS menerima, menyimpan, dan mengalirkan ke sungai.
- Upflow zona potensi panas bumi yang memiliki permeabilitas serta gradient suhu bawah permukaan yang lebih tinggi.
- Outflow merupakan zona tempat terjadinya *lateral flow* fluida panas bumi atau *recharge area* untuk sirkulasi sistem panas bumi.
- Citra optis adalah menerima energi radiasi elektromagnetik dari sinar matahari ke permukaan bumi kemudian dipantulkan ke satelit pengamatan.
- Citra radar adalah sinyal dilepaskan ke permukaan bumi kemudian sebagian sinyal dipantulkan kembali, sehingga pada satelit radar memiliki sensor dengan dua instrument yakni *transmitter* dan *receiver*.
- Spektroskopi reflektansi adalah informasi mengenai kimia dari sebuah material suatu medium. Spektrum reflektansi dari spektroskopi tersebut bisa digunakan untuk mengidentifikasi variasi bagian-bagian material tertentu.
- Manifestasi adalah fitur yang dihasilkan dari interaksi fluida/batuan dan deposisi mineral hidrotermal pada permukaan tanah.
- *Reservoir* adalah zona cebakan air panas yang memiliki suhu yang tinggi yang terjebak pada zona *cap rocks*.

- Hot springs adalah manifestasi air panas yang memindahkan panas dari dalam permukaan (*reservoir*) ke permukaan tanah.
- Solfatara adalah manifestasi yang terbentuk dari sulfur di sekitar *vent* dan mengeluarkan uap, CO₂, dan H₂S (kadang SO₂), kadang-kadang membentuk gundukan belerang.
- Fumarol adalah vent yang mengeluarkan uap air yang berubah menjadi uap (steam) untuk mengklasifikasikan gas vulkanik.
- Alterasi adalah proses hidrothermal yang menyebabkan mineral mengalami proses ubahan menjadi mineral baru.
- *Drainage density* (D_d) adalah perbandingan antara panjang total segmen sungai terhadap suatu luasan tertentu. Semakin besar nilai kerapatan pengaliran, maka semakin banyak aliran di permukaan.
- *Bifurcation ratio* (R_b) adalah jumlah sungai orde ke u terhadap jumlah sungai orde ke u+1, variabel ini dapat digunakan untuk mengetahui ada tidaknya kontrol tektonik.
- *Circularity ratio* (R_c) adalah bentuk suatu DAS yang dibandingkan dengan suatu DAS yang mendekati lingkaran. Nilai 1 diumpamakan DAS membentuk lingkaran.
- *Basin shape index* (B_s) adalah perbandingan panjang (Bl) dan lebar (Bw) maksimal dari suatu DAS, parameter ini menunjukkan tingkat pengaruh aktivitas tektonik pada klasifikasi tertentu.
- *Valley floor ratio* (V_f) adalah perbandingan antara lebar dan tinggi sungai, perbandingan ini akan menunjukkan tingkat *uplift* pada suatu morfologi. Nilai V_f rendah menunjukkan bentuk lembah V, sedangkan Nilai V_f tinggi menunjukkan lembah lebar berbentuk U.
- *Mountain front sinuosity index* (Smf) adalah karakteristik tektonik suatu morfologi dengan parameter utama adalah topografi, hasil perhitungan smf berkaitan dengan kekuatan erosi akibat tektonik dalam satuan morfologi.
- *Slope analysis* (% lereng) adalah identifikasi kemiringan permukaan berdasarkan satuan % kemiringan.
- *Lineament density* (L_d) adalah pola patahan regional yang memberikan informasi dasar tentang tektonik, berbagai penelitian telah membuktikan keberadaan patahan maupun sesar terkait dengan kelurusan.
- Band spektral adalah saluran saluran pada citra.

- Koreksi Radiometrik adalah untuk mengubah nilai “*digital number*” menjadi *radiance*. Efek atmosfer menyebabkan nilai reflektansi lebih besar karena adanya hamburan dan *back scattering*.
- Koreksi atmosferik adalah mereduksi efek atmosfer terhadap citra dan mengubah nilai *radiance* menjadi nilai reflektan.
- *Band Math* adalah metode untuk membuat data raster baru dengan melakukan fungsi matematika yang kompleks atau sederhana pada *band* yang tersedia dalam satu atau lebih citra yang dirujuk secara geografis.
- *Band ratio* merupakan teknik yang berguna untuk meningkatkan perbedaan spektral antara *band* dan mengurangi efek topografi dan iluminasi.
- Azimuth adalah sudut horizontal yang diukur searah jarum jam dari suatu garis dasar utara dalam sebuah lingkaran dengan nilai sudut dari 1° sampai 360°.
- Ascending adalah sudut pengambilan data citra pada satelit dari arah barat.
- Descending adalah sudut pengambilan data citra pada satelit dari arah timur.
- *Number density* adalah densitas jumlah kelurusan (jumlah/km²).
- *Length density* adalah densitas panjang kelurusan (km/km²)
- *Intersection density* adalah densitas perpotingan (jumlah/km²)
- *Debris flow* adalah produk gunung api yang berbentuk kipas piroklastik.
- *Landslide* atau *debris avalanche* adalah longsoran material akibat produk gunung api.
- Kaldera adalah fitur vulkanik yang terbentuk dari runtuhnya permukaan tanah setelah letusan vulkanik.

DAFTAR LAMPIRAN

- A. Perbandingan Extraksi Data Citra SRTM dan DEMNAS (I)
- B. Perbandingan Extraksi Data Citra SRTM dan DEMNAS (II)
- C. Hasil Perhitungan Geomorfologi
- D. Hasil Klasifikasi berdasarkan Index Morfometri (I)
- E. Hasil Klasifikasi berdasarkan Index Morfometri (II)
- F. Hasil Klasifikasi berdasarkan Index Morfometri (III)
- G. Hasil Perhitungan Akurasi Geomorfologi
- H. Hasil Perhitungan Akurasi Geomorfologi
- I. Tahapan Pra-pengolahan Citra Landsat-8
- J. Hasil Perhitungan PCA
- K. Hasil Perhitungan DPCA
- L. Hasil statistik dengan *threshold* 92% metoda PCA dan DPCA
- M. Hasil Uji Laboratorium XRD sample SAV-01
- N. Hasil Uji Laboratorium XRD sample SAV-02